Travaux dirigés de Thermodynamiques

Série N°1

Outils mathématiques

Exercice 1 :

Soir f la fonction définie par $f(x, y,z) = x \ln(x) - x^2yz$

1°) Calculer la différentielle de f(x,y,z) en tout point.

2°) f(x,y,z) est - elle une différentielle totale exacte.

Exercice 2 :

L'état d'un gaz est représenté par une équation caractéristique liant les variables d'états Volume, Température et Pression : f(V,T,P) = 0.

1°) Ecrire la différentielle de la fonction f(x,y,z) .

2°) Ecrire les différentielles de V, de T et de P.

Exercice 3 :

L'équation d'état d'un gaz parfait relie les variables P(Pression), v (Volume molaire) et T (Température) par la relation

$$Pv = RT$$

R est une constante des gaz parfaits.

1°) Définir le nombre de variables indépendantes nécessaires pour caractériser complètement l'état du gaz parfait.

2°) Calculer les dérivées partielles suivantes :

$$\left[\frac{\partial P}{\partial v}\right]_T, \left[\frac{\partial P}{\partial T}\right]_v, \left[\frac{\partial v}{\partial P}\right]_T, \left[\frac{\partial T}{\partial v}\right]_P, \left[\frac{\partial T}{\partial P}\right]_v, \left[\frac{\partial v}{\partial T}\right]_P$$

3°) Vérifier que ces dérivées partielles satisfont les relations générales suivantes :

$$\left[\frac{\partial P}{\partial v}\right]_T = \frac{1}{\left[\frac{\partial v}{\partial P}\right]_T}, \left[\frac{\partial P}{\partial T}\right]_v = \frac{1}{\left[\frac{\partial T}{\partial P}\right]_v}, \left[\frac{\partial v}{\partial T}\right]_P = \frac{1}{\left[\frac{\partial v}{\partial T}\right]_P}$$

$$\left[\frac{\partial P}{\partial v}\right]_T \left[\frac{\partial v}{\partial T}\right]_P \left[\frac{\partial T}{\partial P}\right]_v = -1$$

Scanned by CamScanner

Exercice 4 :

Déterminer la fonction S(T,V) sachant que :

$$\frac{\partial S}{\partial T})_V = \frac{3R}{2T} \quad \text{et} \quad \frac{\partial S}{\partial V})_T = \frac{1}{V}$$

T et V sont des variables indépendantes et R une constante positive.

Exercice 5 :

On choisit comme variables indépendantes pour définir l'état d'un gaz son volume V et sa température T. Toute grandeur caractérisant le gaz sera une fonction de V et T.
Soit la grandeur U telle que dU = Cv dT (Cv : facteur indépendant de V et T).

1°) Vérifier que dU est une différentielle.
2°) Déterminer la fonction U.

Scanned by CamScanner

Travaux dirigés de Thermodynamiques

Série N°2
Température – Pression - Gaz Parfait

Exercice 1 :

L'échelle Fahrenheit se déduit de l'échelle Celsius par une transformation linéaire. Par définition 32°F = 0°C et 212°F = 100°C.

1°) Convertir 400°F en °C et 400°C en °F,

2°) A quelle température les deux échelles donnent – elles la même indication ?

3°) Exprimer l'équation du gaz parfait en °F.

Exercice 2 :

Un thermomètre à mercure, gradué linéairement, est plongé dans la glace fondante, le mercure affleure à la division -6. Dans la vapeur d'eau bouillante, sous 76 cm de mercure, il affleure à la division 101.

1°) Dans un bain tiède, le mercure affleure à la division n = 50. Déterminer la température θ du bain.

2°) Plus généralement, déterminer la correction à apporter à la division n, sous la forme $\theta - n$. En déduire la température pour laquelle aucune correction n'est nécessaire.

Exercice 3 :

Un récipient cubique contient dix moles d'oxygène, de masse molaire M = 32g/mole, dans les conditions normales de pression et de température (P= 10^5 Pa, To= 273 K, k = 1,38 10^{-23}J/K).

En supposant que ce gaz est un gaz parfait :

1°) Rappeler l'expression donnant la pression d'un gaz parfait monoatomique en fonction de la densité particulaire η, de la masse m de la particule et de la vitesse quadratique moyenne des particules $v_q = \sqrt{(V)^2}$,

Scanned by CamScanner

2°) Déduire l'énergie cinétique moyenne d'une particule du gaz en fonction de k (constante de Boltzman) et T,

3°) Calculer la densité particulaire η du gaz, l'énergie cinétique moyenne d'une particule du gaz et la vitesse quadratique moyenne des particules v_q

Exercice 4 :

Un récipient cubique contient, sous la pression P = 1 bar et à la température T= 273 K, 1 kilo mole d'argon de masse molaires M = 39,90g. En considérant ce gaz comme parfait, calculer:

1°) Le nombre d'atomes N numériquement,

2°) La masse m d'un atome,

3°) Le volume V du récipient et son arête a,

4°) Le nombre moyen η d'atomes par mètre cube,

5°) L'énergie cinétique moyenne Ec d'un atome,

6°) La vitesse quadratique moyenne v_q d'un atome

Exercice 5 :

Trois récipients contiennent respectivement de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote dans les conditions suivantes :

- H2 : 2,25 L ; 250 mmHg ; 20 °C ;
- O2 : 5,50 L ; 250 mmHg ; 20 °C ;
- N2 : 1,40 L ; 760 mmHg ; O °C .

1. Calculer la masse de chaque gaz en les supposant parfaits.

2. On mélange ces gaz dans le même récipient de volume 18,5 L à la température de 0 °C ; on suppose le mélange idéal. Calculer pour chaque gaz sa fraction massique, sa fraction molaire et sa pression partielle.

3) Quelle est la pression totale du mélange ?

On donne les masses molaires atomiques : M (H) = 1 g.mol-1 ; M (O) = 16 g.mol-1 ; M (N) = 14 g.mol-1 .

Scanned by CamScanner

Travaux dirigés de Thermodynamique

Série N° 3
Chaleur – Travail

Exercice 1 :

Nous possédons M_{ess} = 260 g d'essence que l'on brûle pour échauffer M = 4 kg de glace initialement à -20°C sous la pression atmosphérique : quelle est la température finale de la vapeur obtenue ?
Données : chaleur latente de fusion de la glace : L_f = 352 kJ/kg, pouvoir calorifique de l'essence : C_{ess} = 48.103 kJ/kg, chaleur latente de vaporisation de l'eau : L_V = 2256 kJ/kg, capacité calorifique massique de la glace : C_{glace} = 2000 $J.kg^{-1}.K^{-1}$, capacité calorifique massique de l'eau : C_{eau} = 4185,5 $J.kg^{-1}.K^{-1}$ et capacité calorifique massique de la vapeur d'eau C_{vap} = 2020 $J.kg^{-1}.K^{-1}$

Exercice 2 :

On effectue, de 3 façons différentes, une compression qui amène du diazote N2 (| air) de l'état 1 (P1 = Po | 1 bar, V1 = 3.Vo) à l'état 2 (P2 = 3.Po, V2 = Vo | 1 litre).
La première transformation est isochore (volume constant) puis isobare (pression constante), la seconde est isobare puis isochore, la troisième est telle que P.V = Cte.
1. Représentez dans le plan P(V) les 3 transformations.
2. Quelles sont les travaux reçus dans les 3 cas ?
3. Quelle transformation choisira -t -on si l'on veut dépenser le moins d'énergie motrice ?

Exercice 3:

Une ensileuse fonctionne selon un cycle ABCA décrit comme suit :
1 - Le gaz parfait est amené de l'état A (P_A, V_A, T_A) à l'état B (P_B, V_B, T_B) par une transformation à volume constant. Sachant que $P_B = 2\ P_A$, calculer T_B en fonction de T_A ?
2 - Le gaz subit ensuite une détente isotherme qui l'amène à un état C (P_C, V_C, T_C) de telle sorte que $P_C = P_A$. Calculer V_C en fonction de V_A ?
3 - Le gaz revient alors à son état initial A par une transformation à pression constante.
a - Faire un schéma du cycle ABCA dans le diagramme de CLAPEYRON.
b - Calculer le travail total W échangé par le gaz pendant le cycle ABCA avec le milieu extérieur. Exprimer ce travail en fonction des variables P_A et V_A.

Scanned by CamScanner

Travaux dirigés de Thermodynamique

Série N° 4

Premier Principe de la Thermodynamique

Exercice 1 :

On chauffe un récipient contenant 6g d'hydrogène (gaz parfait) d'une température de 15°c jusqu'au 30°c.

1°- Calculer la variation d'énergie interne du gaz au cours de cet échauffement,

2°- Pendant cette transformation, le milieu extérieur a reçu un travail de 264 joules. Quelle est la quantité de chaleur correspondante reçue par le gaz ?

On donne : R = 8,31 J.K-1mol-1 et γ= Cp/Cv = 1,4

Exercice 2 :

Un récipient fermé par un piston mobile renferme 2 g d'hélium (gaz parfait monoatomique) dans les conditions (P1, V1). On opère une compression adiabatique de façon réversible qui amène le gaz dans les conditions (P2, V2). Sachant que P_1=1 bar ; V_1 = 10L ; P_2 = 3 bar. Déterminer :

a) - le volume final V2,

b) - le travail échangé par le gaz avec le milieu extérieur,

c) - la variation d'énergie interne du gaz,

d) - déduire la variation de température du gaz sans calculer sa température initiale.

On donne : γ= Cp/Cv = 5/3, R = 8,31 $J.K^{-1}$. mol^{-1}.

Exercice 3:

L'état initial d'une mole de gaz parfait est caractérisé par P_0 = 2.105 Pa, V_0 = 14 litres. On fait subir successivement à ce gaz:

- une détente isobare, qui double son volume,
- une compression isotherme, qui le ramène à son volume initial,

Scanned by CamScanner

Travaux dirigés de Thermodynamique

Série N° 5

Deuxième Principe de la Thermodynamique

Exercice 1 :

Exprimer la variation élémentaire d'entropie d'un gaz parfait, en fonction des variables indépendantes T et V.

En déduire la variation d'entropie d'une mole de gaz parfait, lorsqu'on triple simultanément la température initiale et le volume initiale du gaz.

On donne : R = 8,31 $J.K^{-1}mol^{-1}$ et $\gamma = 7/5$

Exercice 2 :

On considère un cycle de Carnot constitué d'une succession de transformations réversibles. Soient :

- AB, une compression adiabatique (S constante),
- BC, une détente isotherme à $T = T_2$,
- CD, une détente adiabatique (S constante),
- DA, une compression isotherme à $T = T_1$.

1°- Représenter le cycle dans le diagramme (P,V), et (T,S) en indiquant le sens des transformations.

2°- Calculer les quantités de chaleur échangées en fonction de T_1, T_2, S_A, S_B, S_C et S_D et indiquer leur signes.

3°- Calculer le travail échangé au cours de cycle, préciser la nature du cycle et donner son rendement en fonction de T_1 et T_2.

Exercice 3 :

Le fluide d'un réfrigérateur subit une transformation cyclique suivant un cycle de Carnot. Au cours d'un cycle, le fluide reçoit le travail W (W> 0).

Scanned by CamScanner

- un refroidissement isochore, qui le ramène à l'état initial (P_0, V_0).

a - A quelle température s'effectue la compression isotherme ? En déduire la pression maximale atteinte. Représenter le cycle de transformation dans le diagramme (P, V)

b - Calculer le travail, la quantité de chaleur et la variation d'énergie interne échangés par le système au cours de chaque transformation ?. Faire le bilan du cycle ?.

On donne : constante des gaz parfaits : R = 8,314 J.K-1.

Exercice 4 :

Un cylindre (C) vertical, de section s=10 cm^2, est placé dans l'air à pression atmosphérique $P_0 = 10^5$ Pa. Il est fermé par un piston mobile, sans frottement, de masse M=5 Kg et contient un gaz parfait à la température T1=7°C. Ce gaz occupant alors une hauteur h_1=35cm se trouve dans l'état 1.

On comprime adiabatiquement et réversiblement le gaz jusqu'à une pression P_2=1,53 10^5 Pa correspondant à un état 2.

On prendra g= 10ms-2 : γ = Cp/Cv = 5/3, R = 8,31 J.K-1 . mol-1.

1°- Déterminer le déplacement du piston au cours de cette compression.

2°- Calculer la variation de la température du gaz pendant cette compression, sans déterminer la température de l'état 2.

3°- A partir de l'état 2 on refroidit, à pression constante, le gaz jusqu'à la température T_3= T_1. Quelle est la position finale du piston ? Donner sa valeur numérique.

Scanned by CamScanner

Université Sidi Mohammed Ben Abdellah

Ecole Nationale des Sciences Appliquées

CP2 - 2017 / 2018

TD de Thermodynamique
Série N°2
Température – Pression - Gaz Parfait

Exercice 1 :

L'échelle Fahrenheit se déduit de l'échelle Celsius par une transformation linéaire. Par définition 32°F = 0°C et 212°F = 100°C.

1°) Convertir 400°F en °C et 400°C en °F,

2°) A quelle température les deux échelles donnent – elles la même indication ?

3°) Exprimer l'équation du gaz parfait en °F.

Exercice 2 :

Un thermomètre à mercure, gradué linéairement, est plongé dans la glace fondante, le mercure affleure à la division -6. Dans la vapeur d'eau bouillante, sous 76 cm de mercure, il affleure à la division 101.

1°) Dans un bain tiède, le mercure affleure à la division n = 50. Déterminer la température θ du bain.

2°) Plus généralement, déterminer la correction à apporter à la division n, sous la forme $\theta - n$. En déduire la température pour laquelle aucune correction n'est nécessaire.

Exercice 3 :

Un récipient cubique contient dix moles d'oxygène, de masse molaire M = 32g/mole, dans les conditions normales de pression et de température (P= 10^5 Pa, To= 273 K, k = 1,38 10^{-23}J/K).

En supposant que ce gaz est un gaz parfait :

1°) Rappeler l'expression donnant la pression d'un gaz parfait monoatomique en fonction de la densité particulaire η, de la masse m de la particule et de la vitesse quadratique moyenne des particules $v_q = \sqrt{(V)^2}$,

2°) Déduire l'énergie cinétique moyenne d'une particule du gaz en fonction de k (constante de Boltzman) et T,

Scanned by CamScanner

3°) Calculer la densité particulaire η du gaz, l'énergie cinétique moyenne d'une particule du gaz et la vitesse quadratique moyenne des particules v_q

Exercice 6:

Soit une mole d'un gaz parfait qui obéit à l'équation d'état :$PV = RT$

1/Calculer le coefficient de dilatation volumique à pression constante α.

2/Calculer le coefficient de compression isochore β.

3/Calculer le coefficient de compressibilité isotherme χ_T.

4/Vérifier la relation :$P\beta\chi_T = \alpha$

Scanned by CamScanner

TD de Thermodynamique
Série N°3
Chaleur – Travail

Exercice 1 :

Nous possédons M_{ess} = 260 g d'essence que l'on brûle pour échauffer M = 4 kg de glace initialement à -20°C sous la pression atmosphérique : quelle est la température finale de la vapeur obtenue ?

Données : chaleur latente de fusion de la glace : LF = 352 kJ/kg, pouvoir calorifique de l'essence : L_{ess} = 48.103 kJ/kg, chaleur latente de vaporisation de l'eau : L_V = 2256 kJ/kg, capacité calorifique massique de la glace : C_{glace} = 2000 $J.kg^{-1}.K^{-1}$, capacité calorifique massique de l'eau : C_{eau} = 4185,5 $J.kg^{-1}.K^{-1}$ et capacité calorifique massique de la vapeur d'eau C_{vap} = 2020 $J.kg^{-1}.K^{-1}$

Exercice 2 :

On effectue, de 3 façons différentes, une compression qui amène du diazote N2 (air) de l'état 1 (P1 = Po = 1 bar, V1 = 3.Vo) à l'état 2 (P2 = 3.Po, V2 = Vo = 1 litre).

La première transformation est isochore (volume constant) puis isobare (pression constante), la seconde est isobare puis isochore,

la troisième est telle que P.V = Cte.

1. Représentez dans le plan P(V) les 3 transformations.
2. Quelles sont les travaux reçus dans les 3 cas ?
3. Quelle transformation choisira-t -on si l'on veut dépenser le moins d'énergie motrice ?

Exercice 3:

Un gaz parfait est contenu dans un cylindre fermé par un piston. On suppose que les parois du cylindre et du piston sont infiniment perméable à la chaleur de manière que les transformations étudiées soient isothermes. Les conditions initiales sont P_0, V_0, T_0.

1. On comprime le gaz de manière réversible de P_0 à P_1. Calculer le travail W_1 échangé au cours de l'opération. Quel est le travail W'_1 échangé par le gaz lorsqu'il se détend de manière réversible de P_1 à P_0. Comparer W_1 et W'_1.
2. On comprime le gaz de manière irréversible de P_0 à P_1 en appliquant brutalement sur la face extérieure du piston la pression P_1. Calculer le travail W_2 échangé au cours de cette opération. Quel est le travail W'_2 échangé par le gaz lorsqu'il se détend de P_1 à P_0 en laissant agir la pression P_0 sur la face extérieure du piston. Comparer W_2 et W'_2. Comparer W_1 et W'_1.

On prendra P_0 = 1 atm et P_1 = 10 atm.

Scanned by CamScanner

https://mv.ezproxy.com.eressources.imist.ma/mathscinet

EZproxy Server Error

Please tell your server administrator to check ezproxy.msg for a MaxVirtualHosts error

Scanned by CamScanner

1°) Comparer la valeur Q_2 de la chaleur cédée par la source froide (température T_2) à celle Q_1 de la chaleur reçue par la source chaude (température T_1).

2°) En supposant le cycle décrit de façon réversible, calculer Q_2 en fonction de W, T_1 et T_2.

3°) Calculer l'efficacité frigorifique.

Exercice 4 :

Une pompe à chaleur en liaison avec deux sources : l'une constituée par $1m^3$ d'eau, de chaleur massique C = 4185 J/Kg K, initialement à la température T_1 = 280 k, l'autre constituée par l'atmosphère qui est à la température T_2 supposée constante : T_2 = 280 K. La pompe à chaleur fonctionne réversiblement, de sorte que l'eau s'échauffe lorsque la pompe reçoit un travail W, sous forme d'énergie électrique.

1°) Exprimer le travail W fourni à la pompe à chaleur, lorsque l'eau atteint la température T'_1= 320 K, en fonction des températures T_1, T_2, T'_1 et de C.

2°) Exprimer, en fonction des températures T_1, T_2, T'_1, le coefficient d'efficacité de la pompe à chaleur, défini comme étant le rapport de la quantité de chaleur fournie à la source chaude au travail fourni par le milieu extérieur.

Exercice 5 :

Dans un moteur thermique à air, l'unité de masse (1kg) d'air (gaz supposé parfait) décrit de façon réversible le cycle des transformations suivantes :

- Compression isotherme de l'état A (P_A = 1 atm, T_A = 350 k) à l'état B (P_B = 8 atm, T_B) ;
- Echauffement isobare de l'état B à l'état C (T_C = 1400 K) ;
- Détente adiabatique de l'état C à l'état D ;
- Refroidissement isobare de l'état D à l'état initial A.

1°- Calculer la capacité thermique à pression constante de l'Unité de masse d'air,

2°- Déterminer la pression, le volume et la température de l'air dans chacun des états A, B, C et D.

3°- Quel est le rendement thermodynamique η du cycle ?.

4°- Calculer pour chacune des quatre transformations du cycle, les variations ΔU et ΔS de l'énergie interne et de l'entropie du gaz. Vérifier que l'on a $(\Delta U)_{cycle} = 0$ et $(\Delta S)_{cycle} = 0$

On donne : R = 8,31 $J.K^{-1}mol^{-1}$, γ= 7/5., volume molaire gazeux = 22,4 L, masse du litre d'air = 1,3 g ;

Scanned by CamScanner